4.10 ESTELA TURBULENTA.

Un vórtice o torbellino (vortex) es una masa de aire que gira sobre si misma, alrededor de un eje de rotación denominado línea de vórtice. El humo de un cigarrillo es un ejemplo sencillo de vórtice.

4.10.1 Como se produce.

El efecto de estela turbulenta es conocido desde hace tiempo por los pilotos, los cuales pensaron inicialmente que se debía al flujo de aire desplazado por las hélices. Hoy en día se sabe que es debido a los vórtices generados en los extremos de las alas. Como se forman estos vórtices está sin embargo poco explicado, o al menos de forma confusa, para los profanos en aerodinámica. No obstante, vamos con la explicación más plausible.

Para empezar, los vórtices que dan lugar a la estela turbulenta son producto de la sustentación y todos los aviones los producen mientras están en vuelo. En la generación de sustentación, la masa de aire "visitada" por el aeroplano adquiere un movimiento descendente hacia abajo (downwash), con relación al resto del aire, pero además este aire se riza sobre sí mismo alrededor de la parte superior del ala debido al cambio de velocidad del aire, de forma proporcional a la tasa de cambio en la sustentación a lo largo del ala. Este rizado se produce a lo largo de todo el ala, pero en el extremo del ala, donde la sustentación cae rápidamente a cero (ya no hay ala), el rizo se hace más apretado, dando lugar a los vórtices del extremo del ala (wingtips wortex) o estela turbulenta.

En definitiva, la masa de aire deflectada hacia abajo en el borde de salida de cada ala, tiende a enroscarse o rizarse hacia el límite marcado por los vórtices de los extremos del ala (wingtips vortex). El aire rota alrededor de las líneas de vórtice en la dirección indicada en la figura 4.10.1 y en sentido descendente.

Fig.4.10.1 - Estela turbulenta (vórtices).

La fuerza de los vórtices viene determinada por el peso, la velocidad, y las características del ala (superficie, coeficiente de sustentación, etc...). Los vórtices más violentos son los generados por aviones pesados, volando limpios (sin flaps extendidos) y lento. Un avión en vuelo con estas condiciones necesitará producir una gran cantidad de sustentación para soportar su peso, así que por analogía podemos deducir que cuanta más sustentación ha de producir un avión mayor es la fuerza de sus vórtices.
Aunque la fuerza de la estela turbulenta depende de los factores mencionados anteriormente, algunos test han registrado puntas de velocidad tangencial de alrededor de 130 nudos, más que suficiente para poner un avión ligero boca abajo.

Los vórtices forman parte del aire y, lo mismo que el humo de un cigarrillo, no se quedan donde se generan, se desplazan hacia abajo, aceptándose como regla general una velocidad de 500 f.p.m. (pies por minuto) hasta una distancia de unos 1000 ft. por debajo del avión en que tienden a estabilizarse, aunque estos valores dependen como hemos visto, de varios factores. También, si el viento está soplando en una dirección determinada, los vórtices se desplazan en esa misma dirección.

En las cercanías del terreno (dentro de unos 200 ft.), los vórtices tienden a difundirse lateralmente sobre el suelo, a una velocidad aproximada de 5 kts.

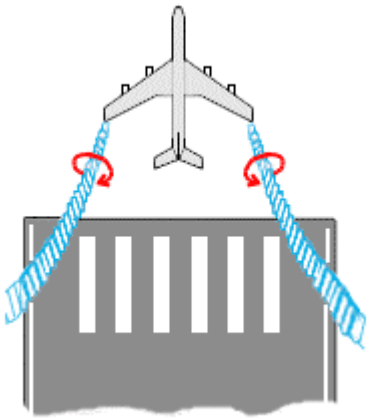

Fig.4.10.2 - Difusión de vórtices en el suelo.

Otro efecto de turbulencia, aunque no tiene nada que ver con el anterior, es el producido por el chorro de salida de los gases de reactores durante las operaciones en el suelo. La velocidad de salida de los gases durante algunas operaciones aconsejan para un aeroplano ligero mantener una distancia prudencial a dicho chorro.

4.10.2 Como evitarla.

La estela turbulenta (vórtices) **solo** se genera cuando el avión produce sustentación, por tanto mientras el avión está en el suelo, aunque esté rodando, no se producen vórtices.

Durante el vuelo. Si vuela en un avión ligero, evite el espacio aéreo debajo y detrás de un avión grande. Evitar el área durante tres o cuatro minutos puede ser suficiente para que los vórtices hayan perdido intensidad y no nos causen problemas.

Durante el despegue. Si despegamos después de un avión grande y pesado, podemos evitar los vórtices -en teoría- si nos vamos al aire en un punto bastante ***anterior*** al cual despegó el susodicho avión y mantenemos una senda de ascenso por ***encima*** de este. En la práctica, la primera parte es relativamente fácil, nuestra carrera de despegue seguro que es más corta y nos iremos al aire bastante antes que el precedente. Pero que nuestra senda de ascenso sea más pronunciada (segunda parte) es casi imposible de conseguir, no podemos competir en potencia y capacidad ascensional. Así que la mejor técnica es retrasar nuestro despegue y esperar unos minutos hasta que los vórtices se disuelvan.

Fig.4.10.3 - Despegue tras un avión con estela turbulenta.

Durante el aterrizaje. Por la misma razón, si vamos a aterrizar tras un avión grande y pesado, evitaremos los vórtices si mantenemos una senda de descenso por ***encima*** de la suya y contactar con la pista en un punto ***posterior*** a su punto de contacto.

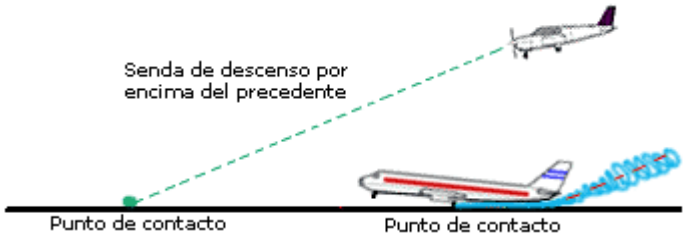

Fig.4.10.4 - Aterrizaje tras un avión con estela turbulenta.

Como lo normal es que el despegue y el aterrizaje se realice contra el viento -viento en cara- ello contribuye a que esto nos acerque los vórtices del precedente.

De los detalles anteriores podemos deducir una regla general para evitar los vórtices: la senda de ascenso o descenso debe estar siempre por encima del avión precedente, y nuestro punto de despegue o aterrizaje en la pista debe estar entre aquellos donde el avión anterior tenía las ruedas en el suelo.

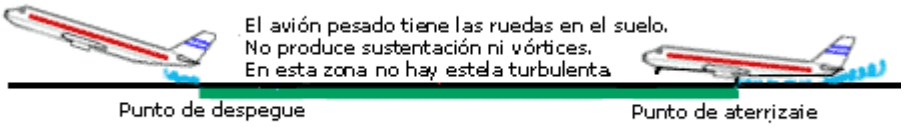

Fig.4.10.5 - Area de despegue o aterrizaje sin estela turbulenta.

Debemos tener en cuenta que los vórtices pueden ser desplazados por el viento, de manera que si vamos a despegar o aterrizar desde una pista paralela o perpendicular a la cual despegó o aterrizó un avión pesado, nos podemos encontrar con estela turbulenta, derivada hacia nuestra pista por el viento.

Sumario:

- Un vórtice (vortex) es una masa de aire que gira sobre si misma, alrededor de un eje de rotación denominado línea de vórtice.
- Los vórtices que dan lugar a la estela turbulenta son producto de la sustentación. No hay sustentación sin vórtices ni vórtices sin sustentación.
- La masa de aire deflectada hacia abajo en el borde de salida de cada ala, tiende a enroscarse o rizarse hacia el límite marcado por los vórtices de los extremos del ala (wingtips vortex).
- El aire rota alrededor de las líneas de vórtice de afuera hacia adentro y en sentido descendente.
- La fuerza de los vórtices depende del peso, la velocidad, y las características del ala.
- Cuanta más sustentación ha de producir un avión mayor es la fuerza de sus vórtices.
- Los vórtices más violentos son los generados por aviones pesados, volando sin flaps extendidos y lento.
- Como regla general, se asume que los vórtices tienen una velocidad de descenso de 500 f.p.m. estabilizándose a unos 1000 ft. por debajo del avión que los produce.

- La estela turbulenta **solo** se genera cuando el avión produce sustentación, por tanto mientras el avión está en el suelo, aunque esté rodando, no se producen vórtices.
- En vuelo, evite el espacio aéreo debajo y detrás de un avión grande. Evitar el área durante tres o cuatro minutos puede ser suficiente para que los vórtices no nos afecten.
- Si se despega después de un avión grande y pesado, debemos irnos al aire en un punto bastante ***anterior*** al cual despegó el avión y mantener una senda de ascenso por ***encima*** de este. Si no se está seguro de poder hacerlo la mejor técnica es retrasar el despegue y esperar unos minutos hasta que los vórtices se disuelvan.

- Si se aterriza después de un avión grande y pesado, se debe mantener una senda de descenso por ***encima*** de la suya y contactar con la pista en un punto ***posterior*** a su punto de contacto.
- La regla general para evitar la estela turbulenta es: la senda de ascenso o descenso debe estar siempre por encima del avión precedente, y nuestro punto de despegue o aterrizaje en la pista debe ser anterior al punto de despegue del precedente y posterior a su punto de aterrizaje (la zona de pista donde el avión pesado tenía las ruedas en el suelo).

© M.A.Muñoz Jun/2001